

[3] 東アジアにおける電波天文学の協力

小林 秀行

〈国立天文台 〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1〉

e-mail: hideyuki.kobayashi@nao.ac.jp



東アジアの電波天文学分野における協力の実績と将来について、VLBI分野の協力を中心に概説する。2000年の野辺山45 mと大徳14 mの実験から始まった協力は、日本国内VLBI網、韓国VLBI網、中国VLBI網を結合した形で東アジアVLBI網を形成するに至った。さらにVLBIのみならずALMAなどをはじめ活発な共同研究が進められている。

1. 野辺山などのこと

日本の電波天文学における東アジアの国際協力は、野辺山宇宙電波観測所が完成し、さらに名古屋大学4 m短ミリ波望遠鏡が観測を開始した1980年代から本格化した。元韓国天文研究院長のCho Se-Hyungさんが、野辺山45 mを使ったSiOメーザー観測で学位を取得し、韓国でミリ波天文学をスタートした。その後、野辺山では45 mでChung Hyun Sooさん、ミリ波干渉計でRoh Duk Gyuさん（両名とも現在、韓国天文研究院）、受信機開発ではShi Shengcaiさん（現在、中国紫金山天文台）などが学位を取得している。また、名古屋大学では、現紫金山天文台長のYang Jiさん、韓国天文研究院のKim Hyun Gooさん、Kim Bongyuさんらが大学院生として研究を行い、学位を取得した。これら大学院生の教育に参画することから始まり、韓国大徳14 mミリ波望遠鏡、中国デリンハ14 mミリ波望遠鏡などで研究交流を進めてきた。野辺山をはじめとした国内の電波天文研究グループが、その初期の段階から韓国・中国の学生を積極的に受け入れ、人的なネットワークを形成していった点の特筆される（本小特集、海部・劉の稿参照）。

2. 国内VLBI

VLBI（超長基線電波干渉計）とは、それぞれの素子アンテナで受信した観測信号波形をテープ・磁気ディスクなどの媒体にいったん記録し、それらをオフラインで同期再生させ、相互相関を得る電波干渉計の方式である。基線長を地球規模、ときにはスペース・地球間でとることができ、センチ波の電波においてもミリ秒角から0.1ミリ秒角の空間分解能を達成することができる。しかし、一般には 10^5 K以上の高い輝度温度をもった天体が観測対象になるために、活動銀河中心核（AGN）などからシンクロトロン放射や分子雲・晩期型星周ガスからのメーザー放射をしている天体が観測対象である。この方法は、1960年代から開始され、米国VLBA、ヨーロッパEVN、オーストラリアLBAなどの地上アレイが組織され、活発に研究成果を上げている。

日本においても天文学分野では、1980年代から、森本、平林、井上らによって、野辺山宇宙電波観測所やNICT鹿島などにある大型電波望遠鏡を用いてVLBI天文学の研究が開始された。1997年には、宇宙研と野辺山の協力で世界発のスペースVLBI衛星「はるか」を打ち上げ、基線長30,000 kmを達成するVSOP計画が世界各国の地

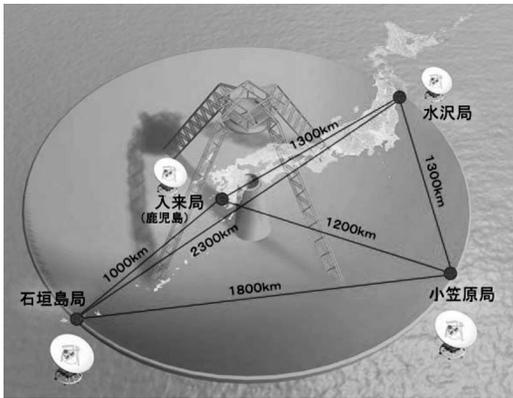


図1 VERA観測局配置.

上局と結合して推進され、研究成果を上げた。その後、国内VLBI観測として位相補償によるアストロメトリを中心とした20 m電波望遠鏡4局によるVERA計画(図1)が推進され、さらに山口32 m, 鹿島34 m, 筑波32 m, 茨城32 m, 苫小牧11 m, 岐阜11 mなどの電波望遠鏡を加えた地上VLBI観測網(JVN)が整備され、研究が進められてきた。

3. 日韓 VLBI

さらに日韓の最初の実験として野辺山45 m鏡と韓国・大徳14 m鏡による86 GHz VLBI観測が2000年から行われた。この観測から、赤色巨星VY-CMaのSiO($\nu=2-1$)メーザーの分布などの結果がまとめられている¹⁾。これを契機に韓国においてSiO($\nu=3-2$)の129 GHzまでを観測できるVLBI網の建設が提案され、KVNとして2008年に実現した(図2)。これは、3台の21 m電波望遠鏡を韓国内に配置し、22, 43, 86, 129 GHzを同時に観測するVLBI網である。このシステム設計やデジタル系機器の開発で日本は密接に協力したが、特に国立天文台を退職した笹尾元教授は韓国亜州大学に移り、韓国のVLBIの礎を築いた。

また日本、韓国、さらに中国のVLBI局を結合するためには大規模な相関局が必要となるため、2005年から日韓共同開発を開始し、2010年5月

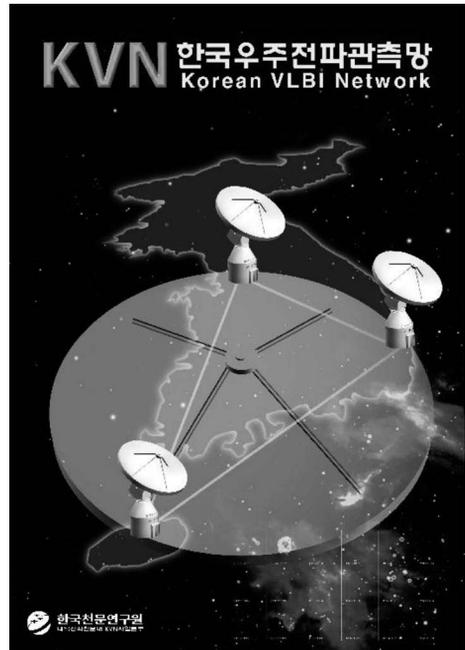


図2 KVN局配置図.



図3 東アジア VLBI 相関局と開発グループ.

にソウルの延世大学に相関局が完成した(図3)。これは局あたり8 Gbpsで16局相関を取ることでできる世界最大のVLBI相関器である。その後韓国・大田の韓国天文研究院キャンパス内に移設され、定常運用を開始している。

VERAとKVNを結合したネットワークはKaVA(KVN and VERA Array)と命名され、現在ではAGN, 星形成, 晩期型星, アストロメトリーのWGが日韓双方の研究者によって組織され、年

2回のサイエンスWSを開催するなどして共同研究を推進している。性能評価も進み、ダイナミックレンジ1,000を超える観測性能が確認されている²⁾。最近の成果では、世界初の44 GHzメタノールメーザーのVLBI観測³⁾が行われている。今後は、晩期型星の脈動の連続モニターなど特色のある研究の展開が期待される。

4. 日中VLBI

中国におけるVLBI観測は、上海天文台を中心に研究が進められ、測地・地球物理の研究とAGN・天文の研究の二本立てで進められていた。

1980年代に上海25 m, ウルムチ25 mの電波望遠鏡が整備されていた。2007年から打ち上げが開始された中国の月探査計画：嫦娥計画の衛星追尾・軌道決定はVLBI観測を下に行われており、上海・ウルムチ局に加えて、密雲 (Miyun) 50 m, 昆明 (Kunming) 40 mの電波望遠鏡が整備され (図4参照), 実時間のVLBI観測・相関処理により衛星の精密軌道を行った。定常的に衛星の追跡管制のための軌道決定にVLBIが用いられたことは世界的にも初めてである。さらに、上海に口径65 m電波望遠鏡：天馬が2013年に完成している。国立天文台からは、川口元教授が上海天文台に異動して参画している。また、世界最大の口径500 m固定鏡であるFASTも、2016年の完成

を目指している。

このような状況の下、VERAおよび国内VLBI観測網は2005年に上海25 mと共同観測を開始し、従来の8 GHz, 22 GHzに加えて、6.7 GHzのメタノールメーザー天体の観測などで成果を上げている。

5. 東アジアVLBI観測網

これらの日本、韓国、中国のVLBI研究の動向にともない、これらの3国のVLBI局を結合したネットワークを構築する構想が2004年にソウル大学で開催された第6回EAMA会議で提案された。またEAMAの呼びかけで翌2005年に設立されたEACOA (本小特集, 林の稿および海部・劉の稿)において、東アジアVLBIコンソーシアムとして組織化された。東アジア3国には、20ものVLBI局があり、世界のなかでも特筆されるポテンシャルをもっている (図5)。これらを組織し、研究を進めることは3国の研究者の望むところであった。この動きは2008年のScience誌にFormidable Radio Telescope Array⁴⁾として紹介された。この構想のためには大規模相関局が必須であり、前述のように日韓協力によって大型相関局が建設され、初期調整を経て、2013年から定常運用に入っている。これに呼応して、2013年から東アジアVLBI網の3国による6.7・8・22 GHzに

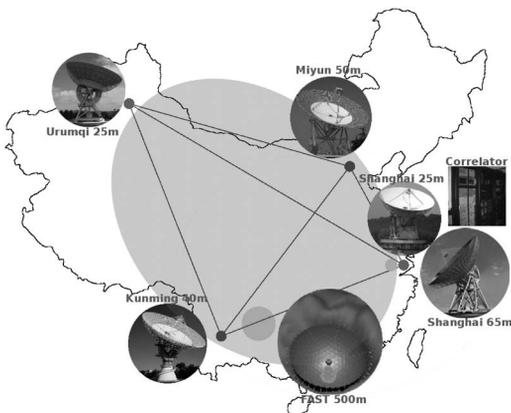


図4 中国VLBI網の局配置。

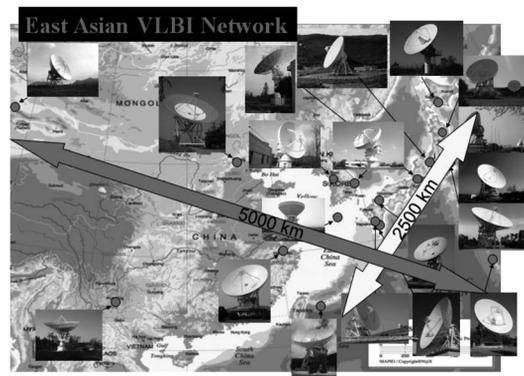


図5 東アジアVLBI観測網局配置。



図6 自然科学研究機構国立天文台・韓国天文研究院 ALMA 共同運用に関する協定調印式 (2014年8月17日)。

おける試験観測が開始された。

また、世界的な潮流であるミリ波 VLBI 観測についても、台湾がグリーンランドに口径 12 m のミリ波サブミリ波 VLBI 局の建設を開始しており、日本からは井上元教授が台湾に異動してプロジェクトを先導するなど、日本・韓国も協力を検討している。

今後は、東アジア天文台の一つの柱として、東アジア VLBI 観測網の科学運用や研究の組織化を進めることが重要であると考えている。

6. そして ALMA, 東アジア天文台へ

ALMA は、チリ・アタカマ砂漠にヨーロッパ・北米との協力で建設を進め、2013年に完成した 66 素子のミリ波・サブミリ波干渉計である。従来の同種の電波干渉計に比べて圧倒的な性能を有するものである。日本は 2004 年から建設を開始したが、2005 年からは台湾 ASIAA も参画し、共同で建設を進めてきた (図 6)。特に台湾 ASIAA は、ALMA 受信機のインテグレーションセンターの役割を担い、建設に大きな貢献をした。また、2014 年からは韓国天文研究院も運用・開発

に参画し、観測研究のみならず次期開発においても大きな貢献が期待されている。

このように電波天文学では、各国が共同で研究・プロジェクトを推進するニーズが高まっており、今後東アジア天文台の枠組みのなかで、それらを有機的に推進することが期待される。

参考文献

- 1) Shibata K. M., et al., 2004, PASJ 56, 475
- 2) Niinuma K., et al., 2014, PASJ 66, 103
- 3) Matsumoto N., et al., 2014, ApJL 789, L1
- 4) "Three Asian Nations Link Up to Form A Formidable Radio Telescope Array," 2008, Science 322, 1446

Collaboration of Radio Astronomy in the East Asian Countries

Hideyuki KOBAYASHI

National Astronomical Observatory of Japan,
2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

Abstract: We describe the progress and future aspect of the collaboration of Radio Astronomy in the East Asian countries. From 1980s, actual collaborations were begun to accept graduate students from Korea and China. East Asian VLBI network, EAVN, was organized based on the Japanese, Korean and Chinese VLBI networks in 2004. Korea and Japan have developed a new VLBI correlation facility in Daejeon for EAVN. Active science researches with the combined array of KVN and VERA (KaVA) have been conducted, and CVN is joining as well. Moreover, Japan, Taiwan and Korea are collaborating with the ALMA project for the construction, operation and science research.